

К. т. н. М. Д. СКУБИЛИН, С. А. ЦЫМБАЛ

Россия, Таганрогский гос. радиотехнический ун-т

Дата поступления в редакцию  
05.05 2000 г.

Оппонент к. т. н. Г. А. ШТЕЙНИКОВ

## ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СРЕДЕ С НЕЧЕТКОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

*Метод и его реализация позволяют обрабатывать нечеткую исходную информацию при повышенных разрешающей способности и достоверности результатов.*

Ожидаемым результатом любого мониторинга (наблюдения, исследования) окружающей среды является заключение о ее состоянии. Так, экологическое состояние окружающей среды оценивается по совокупности критериев, включая опасные для организма человека и природы ингредиенты, предельно допустимую их концентрацию и т. д., причем эти критерии не всегда однозначны, а сами оценки по большинству критериев по объективным или субъективным причинам часто являются нечеткими, носят не количественное, а качественное выражение.

В условиях нечеткой исходной информации о значительном числе альтернативных вариантов, точек пространства мониторинга  $A_j$  ( $j=1, \dots, n$ ), совокупности критериев  $K_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) сделать более или менее достоверные выводы, не прибегая к экспертным решениям, представляется затруднительным, поэтому целью работы является синтез экспертной системы, приемлемой для принятия решений по недоопределенной исходной информации.

Экспертные системы являются разновидностью систем, позволяющих оптимизировать обработку исходной информации и осуществлять выбор при большом количестве вариантов, т. е. ранжировать альтернативные варианты с учетом всех существенных критериев их значимости с высокой степенью достоверности. Спектр применения экспертных систем чрезвычайно широк [1].

Существует значительное множество экспертных систем, отличающихся разной степенью автоматизации процессов принятия решений, достоверностью результатов, степенью согласованности, разрешающей способностью.

Так, еще Ф. Бэконом (XVII в.) предложена система [2, с. 211–213] в символах теории множеств, альтернативные варианты  $A_j$  в которой делят на положительные (имеющие место, существенные —  $A_j, j=1, 2, \dots, q$ ) и отрицательные (не имеющие места, несущественные —  $A_j, j=(q+1), \dots, n$ ), а решение принимается по

$$\bigcap_{j=1}^q A_j / \bigcup_{j=q+1}^n A_j, \quad (1)$$

т. е. по пересечению за вычетом объединения соответствующих альтернативных вариантов. Выражение (1) обладает достоинствами, состоящими в возможности обрабатывать с помощью ЭВМ неограниченный объем исходной информации, и недостатками, состоящими в низкой разрешающей способности ( $h_1=0$ ) и степени согласованности (в низком коэффициенте конкордации)  $W_1$  и, как следствие, в низкой достоверности результатов  $P$ , т. к. рейтинги  $R_{ij}$  альтернативных вариантов  $A_j$  имеют значения  $R_j=1$ , и по каждому критерию  $K_i$  делаются оценки в виде кортежей « $A_{j+1}, A_{j-1}, \dots, A_{j+k}, A_{j-k}, A_{j+g}$ » с неразличимой значимостью альтернативных вариантов  $A_j$ . Результирующим же является также кортеж с неразличимой значимостью вариантов  $A_j$  « $A_{j=k}, A_{j=1}, A_j, \dots, A_{j-g}$ », где  $h_1=0$  и  $W_1=0$ .

Более поздним (а быть может, и наоборот) методом обработки нечеткой информации является система, в которой по каждому критерию  $K_i$  допускается отдавать предпочтение единственному альтернативному варианту  $A_j$ , варианту с рангом  $a_{ij}=1$ . При этом кортежи по  $K_i$  включают единственный  $A_j$ , а остальные варианты признаются отрицательными или с нулевой значимостью. Решение в этой системе принимается по  $R_j$ , численно определяемому из

$$R_j = \sum_{i=1}^m a_{ij}, \quad (2)$$

где  $a_{ij}=[0, 1]$  — ранг варианта  $A_j$  по критерию  $K_i$ , причем  $a_{ij}=1$  присваивается единственному из всей совокупности  $A_{ij}$ -х. Но и эта система, по существу, обладает теми же недостатками, хотя при этом  $W_2>0$ , а кортеж альтернативных вариантов принимает вид, например: « $A_{j+q}, A_{j+1}, A_j, \dots, A_{j-g}$ », где  $h_2=0$ , т. к.  $A_{j+1}=A_j$ .

Дальнейшим совершенствованием системы обработки информации явилась система [3], в которой кортежи по каждому критерию  $K_i$  включают положительные инстанции (их  $a_{ij}=1$ ), а заключение выносится по (2), причем  $a_{ij}=1$  присваивается части  $A_{ij}$  из совокупности представленных на анализ. Эта система также не лишена недостатков, хотя при этом  $W_3>W_2>W_1$ , но по-прежнему  $h_3=0$ .

Достаточно высокую согласованность оценок  $W_3$  и разрешающую способность  $h$  имеет метод, при котором по каждому критерию каждой альтернативе указываются штрафные баллы, кроме того, можно каждому варианту назначать штрафные баллы или указывать значения «0», «+», «-», что несущественно улучшает качество экспертизы.

Более предпочтительной представляется система [4], допускающая по каждому критерию  $K_i$  синтез кортежей произвольной конфигурации (т. е. как с несвязанными, так и со связанными рангами  $a_{ij}$ ), а также учитывающая значимость, вес критерия  $K_i$ , а рейтинги  $R_j$  вариантов  $A_j$  определяющая из

$$R_j = \sum_i^m (n + 1 - a_{ij})p_i = \sum_i^m r_{ij}, \quad (3)$$

где  $n$  — число альтернативных вариантов;

$a_{ij}$  — ранг  $j$ -го альтернативного варианта по  $i$ -му критерию  $K_i$ ;

$p_i$  — вес, значимость критерия  $K_i$ .

Здесь значения  $p_i$  могут быть как равными, так и неравными, а заключение принимается исходя из кортежа и только при  $W_4 > 0,5$  ( $0 < W < 1$ ), определяемо из

$$W = 12S / [m^2(n^3 - n) + m \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_j^3 - q_j)^2], \quad (4)$$

где  $m$  — число критериев (показателей, избирателей и т. д.);

$n$  — число альтернативных вариантов (претендентов);

$q_j$  — число одинаковых рангов в  $i$ -м кортеже (ранжировании);

$S$  — сумма квадратов отклонений значений рейтинга варианта;

$R_{jcp}$  — среднеквадратичное значение рейтинга варианта, определяемые, соответственно, из

$$S = \sum_j^n (R_j - R_{jcp})^2 \quad \text{и} \quad R_{jcp} = \sum_j^n R_j / n.$$

Так как коэффициент конкордации  $W$  может принимать значения в интервале от 0 до 1, то полная согласованность оценок и несогласованность не симметричны. Если, например, оценка  $A_1$  полностью расходится с оценками  $A_2$  и  $A_3$ , то оценки  $A_2$  и  $A_3$  должны быть полностью согласованны. Возрастание коэффициента конкордации от 0 до 1 указывает на увеличение степени согласованности оценок и достоверности результатов экспертизы. Считается, что имеет место достаточная согласованность оценок, если коэффициент конкордации  $W > 0,5 \dots 0,6$  и кортеж принимает вид (показано в примере ниже), однозначно отражающий значимость альтернативных вариантов  $A_j$ .

Данный метод позволяет получать электронными средствами как абсолютные ( $R_j$ ), так и относительные ( $R'_j$ ) численные значения, его  $W > 0,51$  и  $h > 0$ , что служит основанием считать результаты более достоверными, т. к. при оценке значимости учитывается и вес показателя, причем  $R'_j$  позволяет наглядно определить результаты анализа и вклад  $A_j$  в общую картину.

Обработка информации по этому методу допускает автоматизацию с применением электронных средств, для чего разработано аппаратное и программное обеспечение обработки нечеткой исходной информации и синтеза кортежей альтернативных вариантов в порядке убывания (возрастания) значимости последних.

Аппаратное, схемное решение электронной обработки результатов мониторинга [5] представлено на **рис. 1**. Это устройство для ранжирования альтернативных вариантов содержит генератор 1 тактовых импульсов, дешифраторы 2, регистры памяти 3 и 4, группы 5 и 6 элементов И, триггеры 7, 8, 9 и 34, элементы ИЛИ 10, 11, 12, 22, 23, 24, 25 и 26, формирователи импульсов 13 и 14, счетчики импульсов 15, 16 и 27, элементы И 17, 18, 19, 20 и 36, элементы НЕ 21, элементы сравнения 28, информационный вход 29, вход начальной установки устройства 30, вход пуска 31, входы задания исходных значений альтернативных вариантов  $A_j$ , 32, входы задания имен альтернативных вариантов 33 и элемент ИЛИ 35.

По содержанию счетчиков 15 представляется возможность синтезировать мгновенные (в моменты времени  $t_i$ ), а по содержанию счетчиков 16 — интегральные (конечные за время работы устройства) кортежи альтернативных вариантов  $A_j$ .

Разработанное программное обеспечение на «Бейсик» и «Турбо-СИ» защищено от плюрального вота, апробировано в реальных условиях для нужд обработки результатов мониторинга.

#### Программа обработки нечеткой информации на «Турбо-СИ»

```
#include <stdio.h> unsigned int bfr, n,
m, x, y; unsigned int i, j, rk, nk; unsigned
int kkk; unsigned int rang[15][15]; unsigned
int k[15]; unsigned int sumk[15]; unsigned
int masn[15]; unsigned int masn[15];
unsigned int g, d, a, h, mm; unsigned int
bfk, bfkk, bfsumk; unsigned int bfn, kl;
unsigned float bfzz, bfw; unsigned float
bfrr, bfss; unsigned float r[15][15];
unsigned float R[15]; unsigned float pR[15];
unsigned float uporR[15]; unsigned float
uporR[15]; unsigned float bfr; unsigned
float bfrr; unsigned float S; unsigned float
nonR; unsigned float Rmax; float W=0; float
masves[15]; float ves; char bfm[21]; char
masline[15][21]; char masident[15][7]; char
par[7]; char iden[7]; char alternat[15][21];
Out() { /*Вывод рассчитанных данных*/
clrscr(); printf("\n"); for(j=0; j<n; j++)
for(a=0; a<21;
+)masline[j][a]=alternat[j][a]; for(d=0;
d<n; d++) {Rmax=R[d]; bfn=d; for(j=(d+1);
j<n; j++) if(Rmax<R[j]) {Rmax=R[j]; bfn=j;}
R[bfn]=R[d]; R[d]=Rmax; masn[d]=bfn;
uporR[d]=Rmax; for(h=0; h<21; h++)
{bfm[h]=masline[bfn][h];
masline[bfn][h]=masline[d][h];
masline[d][h]=bfm[h]; }} for(d=0; d<n; d++)
{Rmax=pR[d]; bfn=d; for(j=(d+1); j<n; j++)
if(Rmax<pR[j]) {Rmax=pR[j]; bfn=j;}
pR[bfn]==pR[d]; pR[d]=Rmax; pmasn[d]=bfn;
uporR[d]=Rmax;} printf("____");
printf("\n"); printf(" |# |Альтернативные|
Глобальное|"); printf("\n"); printf(" |цели|
абсолютное|относительное|"); printf("\n");
printf(" |значение рейтинга| значение рейтинг-
```

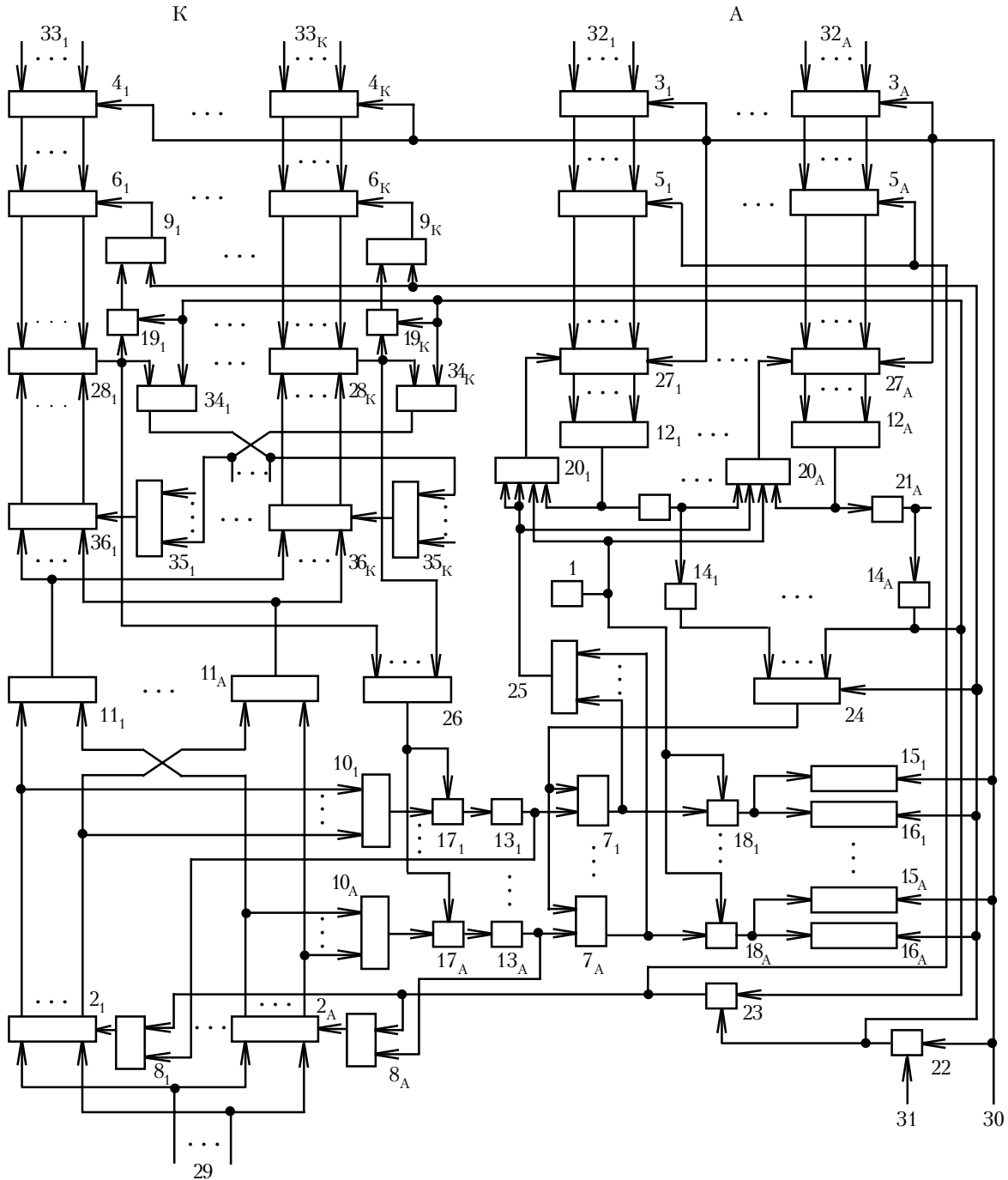


Рис. 1

```

ra|"); printf("\n"); printf("-----");
printf("\n"); for(j=0; j<n;j++) {printf("
"); printf("%d",j+1); printf(".");
printf("%s", masline[j]); printf("\n");}
for(j=0; j<n;j++) {goto xy(30,7+j);
printf("%f",uporR[j]); gotoxy(50,7+j);
printf("%f",uporR[j]); printf("%");}
printf("\n"); printf("-----");
printf("\n"); printf("КОЭФФИЦИЕНТ КОНКОРДА-
ЦИИ = "); printf("%f\n",W); printf("----");
getch();}; main() {clrscr(); printf("\n");
printf("ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ПОКАЗАТЕЛЕЙ");
    
```

```

scanf("%d",&m); j=0; for(i=0; i<m;i++)
{nvvod: printf("\n"); printf("ВВЕДИТЕ ВЕС");
printf("%d", i+1); printf("ПОКАЗАТЕЛЯ");
scanf("%f", &ves); if((ves<0)|| (ves>1))
{printf ("ВЕС ВВЕДЕН ОШИБОЧНО!!");
putchar(7); goto nvvod; } masves[i]=ves;
printf ("ВВЕДИТЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЙ КОД");
printf("%d",i+1);printf("ПОКАЗАТЕЛЯ");
scanf("%s",&masident[i][j]);} clrscr();
rintf("\n"); printf("ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЦЕЛЕЙ"); scanf("%d",&n);
printf("\n"); for(j=0; j!=n;j++)
    
```

```

{printf("%d", j+1);
printf("АЛЬТЕРНАТИВА:");
scanf("%s",&alternat[j]);} bfr=0;
bfkk=0; bfsumk=0; for(j=0; j<n;j++)
{R[j]=0; uporR[j]=0; pR[j]=0; }
for(i=0; i<m;i++) {cic: clrscr();
printf("\n"); printf("ВВЕДИТЕ ИДЕНТИФИ-
КАЦИОННЫЙ КОД ПОКАЗАТЕЛЯ"); scanf("%s",
&par); for(j=0; j<7;
j++)iden[j]=masident[i][j]; for(j=0;
j<7; j++) if(par[j]!=iden[j])
{putchar(7); goto cic;} clrscr();
printf("\n"); printf("ДЛЯ ПРОСМОТРА
РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНОК\n"); printf("ПО
ПРЕДЫДУЩИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НАЖМИТЕ КНОПКУ
'Esc'"); kl=bioskey(0); if(kl==283)
Out(); /*Вывод результата*/ clrscr();
printf("\n"); printf("ВВОД РАНГОВ
АЛЬТЕРНАТИВ ПО"); printf("%d", i+1);
printf("ПОКАЗАТЕЛЮ"); printf("\n");
printf("\n"); for(j=0; j<n;j++)
{printf("%d", j+1); printf(". ");
printf("%s", alternat[j]);
printf("\n"); } for(j=0; j<n;j++)
{gotoxy(30, 4+j); scanf("%d",&rk);
if((rk==0)|| (rk>n)) rang[i][j]=n+1; else
rang[i][j]=rk;} redax: printf("\n");
printf("\n"); printf("РЕДАКТИРОВАНИЕ?
(y/n)"); kkk=bioskey(0); printf("\n");
if((kkk==5497)|| (kkk==5465)|
| (kkk==5517)|| (kkk==5549)) {printf("\n");
printf("ВВЕДИТЕ НОМЕР АЛЬТЕРНАТИВЫ, РАНГ
КОТОРОЙ ПОДЛЕЖИТ РЕДАКТИРОВАНИЮ");
scanf("%d",&nk); x=wherex(); y=wherey();
gotoxy(30, 4+nk-1); scanf("%d", &rk);
rang[i][nk-1]=rk; goto xy(x, y); goto redax;
} bfrt=0; bfss=0; bfzz=0; bfw=0; for(j=0;
j<n;j++) {bfrt=bfrt+1; bfw=masves[i]*bfrt;
bfss=bfss+bfrt; bfzz=bfzz+bfw; } povtor:
for(j=0; j<n;j++) r[i][j]=((float)n+1-
rang[i][j]); bfr=0; for(j=0; j<n;j++)
bfr=bfrr+r[i][j]; if(bfrr>bfss)
{for(j=0;j<n; j++) rang[i][j]==rang[i][j]+1;
goto povtor;} for(j=0; j<n;j++) {/*Вычисле-
ние частного рейтинга каждой альтернативы*/
r[i][j]=(((float)n+1-rang[i][j]))*
masves[i]; R[j]=R[j]+r[i][j]; /*Глобальное
абсолютное значение рейтинга*/
if(masves[i]==1) R[j]=(R[j]//
((float)i+1)*bfss)*100; /*Глобальное*/
/*относительное значение рейтинга*/else
pR[j]=(R[j]/bfzz)*100;} bfr=0; for(j=0;
<n;j++) bfr=bfr+R[j]; nonR=bfr//{(float)n;
S=0; for(j=0; <n;j++) S=S+(R[j]-nonR)*(R[j]-
nonR); bfk=1; for(g=0;<(n-1);g++) for(j=g+1;
j<n;j++)if(rang[i][g]=rang[i][j])
brk=bfk+1; k[i]=bfk; for(j=0; j<n; j++)
bfkk=bfkk+k[i]*k[i]*k[i]-k[i]; sumk[i]=bfkk;
bfsumk=bfsumk+sumk[i]; mm=i+1; W=(12*S)/
(float)(mm*mm*(n*n*n-n)+mm*bfsumk); Out(); /
*Вывод рассчитанных данных*/}

```

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
А					35									
Б										30				
В		36					20						1	
Г				31			26							
Д					16		6		14		27			
Е			33			5			29					
Ж														4
З										24		2		
И													8	
К											32			
Л										18				
М													23	
Н												15		
О													17	
П														10
Р												9		
С								34		21		11		
Т							7		25		13			
У									19	3				12
Ф									28					22

Рис. 2

Предлагаемая система электронного принятия решений в среде с нечеткой исходной информацией обеспечивает существенное повышение быстродействия, разрешающей способности, репрезентативности и достоверности результатов анализа (экспертизы) мониторинга при значительных объемах  $A_j$  и  $K_i$ .

В качестве примера приведем результаты экологического мониторинга земельных участков района г. Геленджик (см. распечатку карты-схемы на рис. 2) по 36 альтернативным точкам (квадратам) и 6 критериям (прозрачность воздуха, присутствие нефтепродуктов, тяжелых металлов, нуклидов, пестицидов и нитратов в почве) с использованием принципов-инструментария: аэрозольно-ионизационного – «СИГМА», «БЕЛЛА», фотокolorиметрического – «ФЛ-2104», инфракрасного – «ГИП-10МБ-3», оптико-акустического – «ГМК-3», термохимического – «ТХ-3651», хемилюминесцентного – «1100В», окислительно-восстановительного галоидного – «1003», кулонометрического – «ГПК-1» и пламенно-фотометрического – «МТ-350Н» [6, с. 30 – 39]. Синтезирован кортеж неблагоприятных, в порядке убывания, в экологическом отношении пятен (точек, площадок, квадратов): В-13, З-13, У-11, Ж-14, Е-6, Д-8, Т-9, И-14, Р-12, П-14 С-13, У-14, Т-12, Д 10, Н-12, Д-5, О-13, Л-11, У-10, В-8, С-11, Ф-13, М-13, З-11, Т-10, Г-7, Д-12, Ф-9, Е-9, Б-11, Г-4, К-12, Е-3, С-8, А-6, В-6, что однозначно соответствует записи вида  $B-13 > Z-13 > Y-11 > A-6 > B-6$  (т. к.  $R_{B-13} > R_{Z-13} > R_{Y-11} > R_{A-6} > R_{B-6} > R_{E-6} > R_{D-8} > \dots > W = 0,64$  и  $h=0,2\%$ ). Это позволило оценить экологическую обстановку и локализовать источники загрязнения окружающей среды.

В частности, в точке (т.) В-13 повышенное содержание нефтепродуктов, как оказалось, вызвано утечкой из прохудившегося нефтехранилища, задымленность воздуха выхлопными газами автотранспорта в т. З-13 обусловлена неудачной компоновкой дорожной развязки на

дороге Новороссийск — Сочи, т. У-11 с повышенным содержанием свинца в почве — в прошлом участок хранения вторичного металла, и т. д.

Кроме того, численные значения  $R_j$  и  $R'_j$  (здесь не приведены) позволяют однозначно оценить как степень загрязнения, так и сельскохозяйственную пригодность участков земли.

\* \* \*

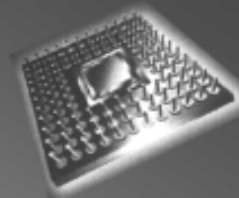
Предлагаемая методика (способ, система) и ее программная реализация могут найти применение во многих областях науки и техники, в промышленности, сельском хозяйстве, для анализа различных социальных и экономических проблем. Ее применение в медицинской, спортивной, селекционной практике и в деле обработки результатов экологического мониторинга обещает получение достоверного материала, приемлемого для прикладных целей.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Naylor C. Build your own expert system. — John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1987. — P. 153—158.
2. Михаленко Ю. П. Ф. Бэкон и его учение. — М.: Наука, 1975.
3. Tomovic R. Modern sensitiviti analysis // IEEE Internet. Convent. Rec. — 1965. — Vol. 13, N 6. — P. 81—86.
4. Скубилин М. Д., Рагимов Р. М., Гаджиев Р. Э., Спиридонов О. Б. Программная реализация системы принятия решений в среде с нечеткой исходной информацией // Изв. АН Азербайджана. Сер. Физ.-техн. и матем. науки. — 1995. — Т. XVI, № 5—6. — С. 119—124.
5. Пат. 2018951 RU. Устройство для анализа альтернативных решений // М. Д. Скубилин, О. М. Фабрикант, Г. Н. Шаповалов — Опубл. в Бюл., 1994, № 16.
6. Щербань А. Н., Примак В. А., Копейкин В. И. Автоматизированные системы контроля загрязненности воздуха. — К.: Техніка, 1979.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ.  
СИМПОЗИУМЫ

Е • X • P • O  
ELECTRONICA



2001

**Е Ж Е Г О Д Н А Я**  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА  
ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

**24–26 АПРЕЛЯ**  
Совинцентр, Москва, Россия

Тел.: +7 812 119-5116 Факс.: +7 812 119-5135  
E-mail: strax@primexpo.spb.ru